

FACTORES FUNDAMENTALES PARA AUMENTAR EL RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO EN LOS ASERRADEROS DE CUBA

A. Fernando-Egas¹; D. Álvarez-Lazo²; I. Estevez²

¹Universidad de Moputo. Moputo. Mozambique.

²Facultad Forestal y Agronomía. Universidad de Pinar del Río. Cuba.

RESUMEN

El presente trabajo está encaminado a determinar y caracterizar los principales factores que influyen en el rendimiento de madera aserrada en los diferentes aserraderos de Cuba; para lo cual se emplea el análisis estadístico de la información previa obtenida al realizar una encuesta entre especialistas del área. Se aprecia que el diámetro, longitud y conicidad de las trozas; así como el tipo de sierra, calidad de la troza y diagrama de corte, son los factores de forma decreciente que más influyen sobre el rendimiento de madera aserrada.

PALABRAS CLAVE: aserrío, conversión, madera aserrada, encuesta.

FUNDAMENTAL FACTORS TO INCREASE THE VOLUMETRIC YIELD IN CUBAN SAWMILLS

SUMMARY

The present work is routed to determine and characterize the principal factors that influence on sawing yield in Cuba; for something witch is employed the statistic analysis of the previous information upon accomplishing a survey between specialist. It is appreciated that diameter, length and taper log; as well as saw type, log quality, and sawing method, they are the factor that more influence on sawing yield.

KEY WORD: sawmill, recovery, timber, survey

INTRODUCCIÓN

Con el crecimiento continuo de la población junto con el consecuente aumento de la demanda de viviendas y de otras necesidades, se espera el incremento del consumo de madera aserrada en los próximos años en Cuba. Ello unido a la limitación de las existencias maderables, el elevado costo de la materia prima, suscita la necesidad de elevar la baja eficiencia de la conversión que se registra actualmente en la industria del aserrío, con la finalidad de aumentar los volúmenes de producción.

Independientemente de la forma como se exprese el rendimiento volumétrico, la relación volumen de madera aserrada – volumen de la troza presenta variaciones que están influenciadas por varios factores que conforman el proceso productivo.

Existen diferentes trabajos publicados en los cuales se refleja claramente la relación de estos factores no solo

con el rendimiento volumétrico total, sino también con el rendimiento volumétrico por surtidos.

El programa “Best Opening Face” (BOF), confeccionado por Hallock y Lewis (1971), que ha sido mejorado hasta el punto de analizar 19 variables para la localización del corte de apertura de la troza (Williston, 1981), es un ejemplo de la gran cantidad de factores que afectan el rendimiento.

A pesar de lo anterior, no se ha estudiado, al menos en Cuba, el grado de influencia que tiene cada factor en las pérdidas de madera durante el proceso de aserrío. Un estudio en este sentido crea las condiciones necesarias para que el personal de los aserraderos pueda centralizar su atención hacia aquellos factores de mayor influencia sobre el rendimiento volumétrico con la finalidad de contrarrestar su efecto negativo.

Por lo que la presente investigación está encaminada a brindar algunas consideraciones para elevar los niveles

de eficiencia del aserrío a partir de la determinación de los principales factores que influyen en el rendimiento de madera aserrada para lo cual se emplea el análisis estadístico de la información previa obtenida al realizar una encuesta entre especialistas del área

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio de las opiniones de los expertos comienza con la composición de una encuesta que consiste en una serie de factores dispuestos por columnas $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$; donde k es el número de factores. Por lo que se le propone a cada especialista asignar a los factores los rangos, que caracterizan su influencia sobre el rendimiento volumétrico. (los factores de mayor importancia se le asignan los rangos menores).

El análisis de los datos de la encuesta se llevó a cabo empleándose métodos estadísticos, a partir del cálculo del coeficiente de concordancia (W):

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} K^2 (N^3 - N) - \sum_{i=1}^l T_u} \quad (1)$$

$$S = \sum_{j=1}^N \left(R_j - \frac{\sum_{j=1}^N R_j}{N} \right)^2 \quad (2)$$

$$T_u = \frac{\sum_{r=1}^n (t_r^3 - t_r)}{12} \quad (3)$$

donde

S: Suma de los cuadrados de las desviaciones observadas de la media de las R_j

K: Número de especialistas que participan en la encuesta.

N: Número de factores de la encuesta.

R_j : Suma de los rangos de cada factor.

T_u : Magnitud de los rangos relacionados

l: número de filas que contienen rangos relacionados

n: número de tipos de rangos relacionados

t: número de rangos iguales en la fila.

La determinación del valor significativo del coeficiente de concordancia con base en el criterio de X^2_{cal} (Herrera *et al.*, 1985) se realiza a partir de que:

$$X^2_{cal} = N (K - 1) W \quad (4)$$

Con frecuencia resulta que en una u otra fuente de información a dos o más factores se les atribuye rangos iguales (rangos coherentes o relacionados). En estos casos es necesario reformular la tabla resumen (Herrera *et al.*, 1985), determinando el coeficiente de concordancia.

Para el procesamiento de los datos reformulados es necesario determinar los siguientes términos:

$$L = R_j - a \quad (5)$$

$$a = 0,5 N (K+1) \quad (6)$$

donde:

L- Desviación de la suma promedio de los rangos

R_j - Suma de los rangos de cada factor

a – suma promedio de los rangos en todo el cuadro.

La muestra seleccionada para la realización de la encuesta se realiza a partir de la metodología propuesta por Voznesenkiy (1981); Kostrikov (1985); y Álvarez (1991), que incluye profesionales relacionados con la industria forestal en Cuba; desglosados de la siguiente manera: cuatro profesores de Industrias Forestales en la Facultad Forestal en la Universidad de Pinar del Río, cuatro investigadores pertenecientes al Departamento de Tecnología de la Madera en el Instituto de Investigaciones Forestales, ubicado en La Habana; así como siete especialistas relacionados directamente con la producción de madera aserrada en Pinar del Río, Villa Clara y Santiago de Cuba; principales polos forestales en Cuba.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En el Cuadro 1, se presentan los resultados de las encuestas de los especialistas, que han sido reformulados a partir de la existencia de rangos relacionados, mediante el empleo de la expresión (3).

Utilizando la expresión (1), se determinó que el coeficiente de concordancia y su valor significativo son: $W = 0,5834$; $X^2_{cal} = 131,2691$. Para $a = 0,05$; $X^2_{tabla} = 24,9958$ se infiere que $X^2_{cal} > X^2_{tabla}$; lo que implica que con una confiabilidad del 95 % la concordancia de los especialistas no es casual.

CUADRO 1. Resultados finales de la encuesta realizada para determinar la incidencia de los diferentes factores sobre el rendimiento volumétrico de madera aserrada.

Factores	R _j	L	L ²
X ₁ - Diámetro de las trozas	26,00	- 101,50	10302,25
X ₂ - Longitud de las trozas	51,00	- 76,50	5852,25
X ₃ - Tipo de sierra	87,50	- 40,00	1600,00
X ₄ - Conicidad de las trozas	70,50	- 57,00	3249,00
X ₅ - Calidad de las trozas	93,50	- 34,00	1156,00
X ₆ - Preparación técnica de los operarios	120,00	- 7,50	56,25
X ₇ - Método de pago a los trabajadores	200,00	72,50	5256,25
X ₈ - Diagrama de corte	99,50	- 28,00	784,00
X ₉ - Sobre o subestimación en las dimensiones	156,00	28,50	812,25
X ₁₀ - Amplitud de corte de las sierras	121,00	- 6,50	42,25
X ₁₁ - Variación del aserrado	187,50	60,00	3600,00
X ₁₂ - Dimensiones de la madera aserrada producida	149,00	21,50	462,25
X ₁₃ - Estímulos adicionales a los trabajadores	189,00	61,50	3782,25
X ₁₄ - Asistencia y estado técnico de los equipos	173,50	46,00	2116,00
X ₁₅ - Esquema de troceo	115,50	- 12,00	144,00
X ₁₆ - Preparación de los útiles de corte	200,50	73,00	5329,00

a = 127,50

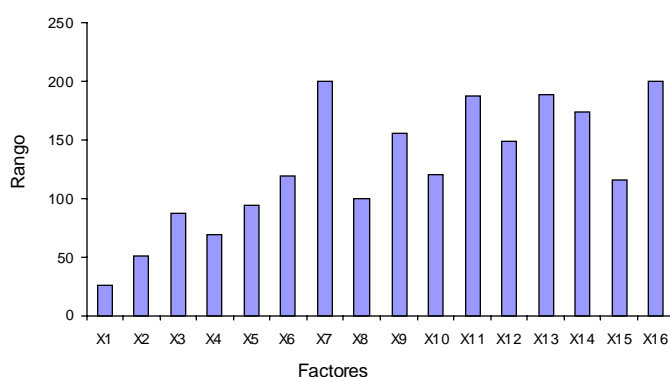


Figura 1. Histograma de los resultados obtenidos en el Cuadro 1, que expresa la influencia de los factores analizados sobre el rendimiento volumétrico de madera aserrada.

En la Figura 1, se aprecia que el diámetro, longitud y conicidad de la troza; así como el tipo de sierra, calidad de las trozas, diagramas de corte y diagramas de troceo, de

forma decreciente, son los factores que más influyen sobre el rendimiento volumétrico durante el proceso de aserrío.

A continuación describiremos el comportamiento de cada uno de estos factores y su contribución al incremento de la producción de madera aserrada.

Diámetro de las trozas. La opinión de los especialistas coincide con diversas investigaciones que indican que el diámetro de la troza es uno de los factores de mayor incidencia en el aserrío. Woodfin (1978); Willits y Fahey (1991), han demostrado que en la medida que el diámetro aumenta, también se incrementa el rendimiento de las trozas en el aserrío; por tanto el procedimiento de trozas de pequeñas dimensiones implica bajos niveles de rendimiento y menor ganancia en los aserraderos (Fleming, 1976).

No obstante, de acuerdo con Vlasov *et al.*, (1967), el planteamiento de que las trozas de pequeñas dimensiones, en comparación con trozas mayores conduce a la reducción de los principales indicadores técnico-económicos de los aserraderos es sólo parcialmente válido, pues, realizando una óptima selección de la maquinaria y de los equipos es posible reducir la influencia negativa en los indicadores.

El efecto del diámetro sobre el rendimiento nos obliga a pensar en la necesidad del perfeccionamiento del aserrado de trozas de pequeñas dimensiones y trazar, además, una política que garantice en lo posible un mayor desarrollo de las existencias maderables con el objetivo de obtener trozas de grandes dimensiones y calidad destinadas a los aserraderos.

Longitud, conicidad y diagrama de troceo. Según Wade *et al.*, (1992), Willits y Fahey (1991), el rendimiento de las trozas en el proceso de aserrío es afectado por la longitud y por la conicidad de las trozas. En la medida que aumenten ambos parámetros se incrementa la diferencia entre los diámetros en ambos extremos de la troza. Por lo tanto, una de las formas de incrementar el rendimiento volumétrico es mediante la optimización del troceo, produciendo lógicamente madera aserrada de dimensiones requeridas. Está observación es de peculiar importancia para la industria cubana del aserrío.

La aplicación de diagramas adecuados de troceo permite la obtención de trozas de alta calidad con una longitud adecuada, requisito indispensable para aumentar el rendimiento. Con el empleo de programas de optimización del troceo se obtienen trozas con características favorables para elevar la eficiencia de la conversión primaria de la madera en los aserríos, de acuerdo con lo reportado por Oldknow (1981); Sessions (1988) y Garland *et al.* (1989).

Calidad de las trozas. Uno de los factores a tener en cuenta, particularmente en la sierra principal, para

maximizar el volumen, es la calidad de la troza. Las dimensiones y el volumen de la madera aserrada bajo las prácticas corrientes del procesamiento tienen una relación directa con las diferentes clases de calidad de trozas, es por ello que Woodfin (1978), se ha apoyado en la relación de las características de la superficie de las trozas y el rendimiento de madera aserrada para establecer normas para la clasificación de trozas.

Tipo de Sierra. Wade *et al.* (1992), demostraron que el ancho de corte influye sobre el rendimiento de madera aserrada ya que una vía de corte ancha se traduce en más pérdida de fibras de madera en forma de aserrín y la disminución de la eficiencia de la maquinaria.

La influencia del tipo de sierra sobre el rendimiento suscita la necesidad de adquirir aserraderos de sierra principal de banda, en lugar de sierra alternativa múltiple o circular, para un mejor aprovechamiento de la materia prima; aspecto éste que se logra entre otros aspectos a partir de la regulación del ancho de corte

Diagrama de corte Las opiniones de los especialistas coincide con diferentes autores (Hallock y Lewis, 1976; Maclean, 1981), que afirman que los diagramas de corte tienen gran incidencia sobre la eficiencia de la conversión de madera aserrada; dependiendo de la calidad de la troza, del diseño del aserrío y de los gradientes de precio de la madera existente.

La aplicación de diagramas de corte teniendo en cuenta el diámetro, longitud, calidad y conicidad de las trozas; así como el tipo de sierra y otros factores, es una variante que favorece el incremento en calidad y cantidad de la producción de madera aserrada. Ello ha sido la base de los programas de optimización que permiten obtener resultados relevantes en la industria del aserrío.

El análisis integral de toda esta información debe contribuir de cierta forma para que los empresarios forestales puedan elaborar estrategias que permitan contrarrestar el efecto negativo o favorecer el efecto positivo de los factores que más influyen sobre el rendimiento volumétrico, condición necesaria para elevar los niveles de aprovechamiento de la materia prima y la eficiencia industrial en general.

A continuación exponemos el procedimiento matemático que posibilita incrementar el rendimiento volumétrico de madera aserrada:

Al interrelacionar los factores diámetro y longitud de las trozas con el troceo y los diagramas de corte mediante la aplicación de procedimientos matemáticos se puede elevar la efectividad del proceso de conversión primaria a partir de la búsqueda de una expresión que garantice el volumen máximo de madera aserrada cuya sección sea

de base rectangular a obtenerse de una troza identificada como un cono truncado; por lo que la solución del problema se expone a continuación:

Una troza de longitud "l" tiene forma cónica en dependencia de la variación de los diámetros en la base y la punta, esto trae como consecuencias una reducción de la eficiencia del proceso de transformación primaria de la madera en los aserríos. Se desea encontrar un prisma de base rectangular que tenga el mayor volumen posible a partir de la troza cónica. (Figuras 2 y 3).

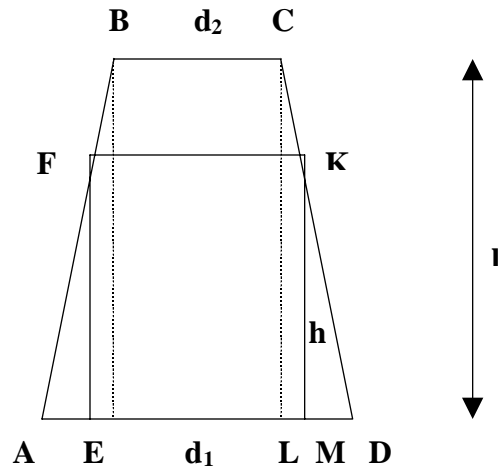


Figura 2. Sección longitudinal de la troza y el prisma de mayor volumen posible a extraer de la misma.

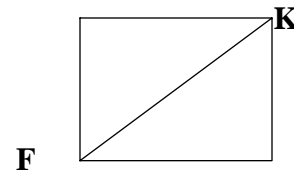


Figura 3. Sección transversal del prisma de base rectangular.

$$FK=EM=d_1-2MD \quad (7)$$

$$(MD=EA)$$

$$\frac{KM}{CL} = \frac{MD}{LD} \quad \text{donde } KM=h \quad (8)$$

$$FK=d_1-2MD=d_1-\frac{(d_1-d_2)h}{l} \quad (9)$$

$V = Ab.h$. Infiriendo que el prisma que nos interesa tiene base cuadrada; por lo que

$$V = -\frac{1}{2} \left(d_1 - \frac{(d_1 - d_2)}{l} h \right)^2 h \quad (10)$$

Buscando el punto máximo local tenemos que:

$$\frac{dV}{dh} = \left(d_1 - \frac{(d_1 - d_2)}{l} h \right) \left(-\frac{(d_1 - d_2)}{l} h + \frac{1}{2} \left(d_1 - \frac{(d_1 - d_2)}{l} h \right) \right) \quad (11)$$

El punto estacionario de máximo es

$$h = \frac{d_1 l}{(3d_1 - 3d_2)} \quad (12)$$

Para la determinación de la distancia de corte para obtener el mayor volumen posible de madera aserrada de la troza utilizamos la Figura 4.

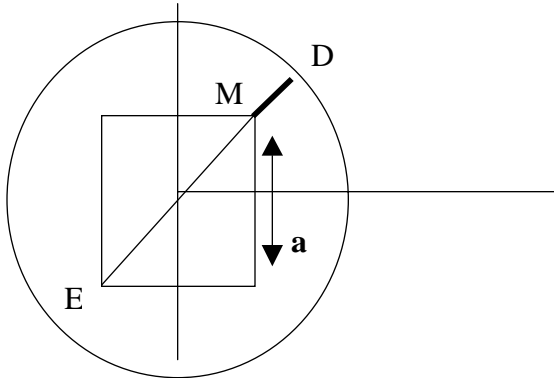


Figura 4. Determinación de la longitud optima de corte para aumentar el rendimiento volumétrico de madera aserrada

La recta paralela al eje EM sería:

$$EM = FK = d_1 \frac{(d_1 - d_2) h}{l} \quad (13)$$

$$a = \frac{EM}{\sqrt{2}} \quad (14)$$

$$\frac{a}{2} = \frac{EM}{2\sqrt{2}} \quad (15)$$

El lado a esta contenido en la recta que tiene como

ecuación $x = \frac{EM}{2\sqrt{2}}$, esta recta pasa por el punto $(\frac{EM}{2\sqrt{2}}, 0)$

Simultaneando las ecuaciones $\frac{EM}{2\sqrt{2}} = x; x^2 + y^2 = \left(\frac{EM}{2} + MD \right)^2$, sustituimos y se tiene que

$$\left(\frac{EM}{2\sqrt{2}}, \sqrt{\left(\frac{EM}{2} + MD \right)^2 - \frac{(EM)^2}{8}} \right), \text{ es solución del sistema, lo que}$$

posibilita obtener la norma del vector determinado por los puntos antes mencionados:

$$b = \left(\frac{EM}{2\sqrt{2}}, \sqrt{\left(\frac{EM}{2} + MD \right)^2 - \frac{(EM)^2}{8}} \right) - \left(\frac{EM}{2\sqrt{2}}, 0 \right) \quad (16)$$

$$|\vec{b}| = \sqrt{\left(\sqrt{\left(\frac{EM}{2} + MD \right)^2 - \frac{(EM)^2}{8}} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{EM}{2} + MD \right)^2 - \frac{(EM)^2}{8}} \quad (17)$$

Posteriormente multiplicando la norma del vector $2\vec{b}$ se obtiene la longitud de corte optima.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados alcanzados en el trabajo llegamos a las siguientes conclusiones:

1. Los factores diámetros, longitud, conicidad, tipo de sierra, calidad de las trozas y esquemas de corte son de forma decreciente, los que más influyen sobre el rendimiento de las trozas en el proceso de aserrado.
2. El diámetro de las trozas es considerado como el factor que más influye sobre el rendimiento de madera aserrada.
3. La reducción del ancho de corte de apertura constituye una alternativa para elevar la eficiencia de conversión debido a una reducción de los volúmenes de residuos durante la limpieza de la troza.
4. La determinación de la longitud de corte óptima mediante procedimientos matemáticos es una opción científicamente fundamentada que posibilita la ubicación efectiva de las líneas de corte para obtener el mayor volumen de madera aserrada en dependencia de las dimensiones de las trozas.

LITERATURA CITADA

Álvarez, D. 1991. Tecnología para la producción de muebles de piezas conformadas de chapas de maderas tropicales. Universidad de Pinar del Río. Cuba. 100 p.

- Fleming, T. 1976. Modifying a mill to fit today's log. In: Proceedings of the sixth sawmill clinic. USA. pp 73-85.
- Garland., J.; Session., J.; Olsen., E. D. 1989. Manufacturing logs with computer-aided bucking at the stump. *Forest Prod. J.* 39 (3): 62-66
- Hallock, H.; Lewis., D. W. 1971. Increasing softwood dimension yield from small logs –Best Opening Face. USDA. Forest Service Research Paper FPL-166. Forest Products Laboratory. Madison. Wisconsin. 11 p.
- Herrera, F.; Kostrikov, P.; Díaz, J. 1985. Planificación de los experimentos. Editorial ENPES. C. Habana. Cuba. 212 p
- Kostrikov, P. 1985. Tecnología de las piezas curvado encoladas de las chapas de madera de pino y alerce. Editorial Sthynza. Moldova. 236 p.
- Maclean, D. 1981. The effect old sweep on yield. *In*: Proceedings of the North American Sawmill & Panel Clinic. USA. pp. 44-49
- Oldknow, D. E. 1981. Optimization throughout the mill. *In*: Proceeding of the North American Sawmill & Panel Clinic. USA. pp. 84-99.
- Sessions, J. 1988. Making better tree bucking decisions in the woods. An introduction to optimal bucking. *Journals of Forestry* 86 (10): 43-45.
- Vlasov, G.; Kulikov, V. A.; Rodionov, S. V. 1967. Technology of Woodworking. Higher School Publishing House. Moscow. 458 p.
- Voznesenkiy, B. A. 1981. Métodos estadísticos en la planificación de experimentos en las investigaciones técnico económicas. Editorial Ciencia. Moscú. 263 p.
- Wade, M. V.; Bullard, S. H.; Steele, P. H.; Araman, P. A. 1992. Estimating hardwood sawmill conversion efficiency based on sawing machine and log characteristics. *Forest Products Journal* 42 (11-12): 21-26
- Williston, E. M. 1981. Small log sawmills. USA. 367 p.
- Willist, S.; Fahey, T. D. 1991. Sugar pine utilization: A 30-year transition. USDA Forest Service Research papers PNW-RP-438. Pacific Northwest Research Station. Portland. Oregon. 21 p.
- Woodfin, R. 1978. Ponderosa pine lumber recovery young growth in Northern California. USDA Forest Service Research papers PNW-237. Pacific Northwest Research Station. Portland. Oregon. 13 p.